

열전발전량에 영향을 미치는 요인과 최적의 열전발전시스템에 관한연구

문채주*, 정의현**, 임정민*** 박상진****, 김태곤*****, 김용구*****

*목포대학교전기공학과(cjmoon@Mokpo.ac.kr),
**목포대학교 대학원 전기공학과(swat9310@paran.com)
***목포대학교 대학원 전기공학과(ljm97@paran.com)
****목포대학교 대학원 전기공학과(sumite17@nate.com)
*****목포대학교 신재생에너지기술연구센터(aicode@naver.com)
*****한국폴리텍5 광주대학(kimyg69@hanmail.net)

A Study for Thermoelectric Generator System And Caused Low Thermoelectric Power.

Moon, Chae-joo*, Cheang, Eui-heang**, Lim, Jung-min***,
Park, Sang-jin****, Kim, Tae-gon*****, Kim, Young-gu*****

*Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University(cjmoon@mokpo.ac.kr)
**Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University(swat9310@paran.com)
***Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University(ljm97@paran.com)
****Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University(sumite17@nate.com)
*****Research Center for New & Renewable Energy Technology, Mokpo National University(aicode@naver.com)
Gwangju Campus of Korea Polytechnic V college(kimyg69@hanmail.net)

Abstract

This paper describes the causes and effects that have influence on thermoelectric generation. If heat transfer is unequal to thermoelectric modules, we could not get the maximum thermoelectric power. So, by experiment, we analysed the differences of power generation according to the state of the contact between thermoelectric module and heat source. And with the variation of heat transfer area, the generated power was analysed also. Using the experimental results we proposed a thermoelectric generation system.

Keywords : 열전발전(Thermoelectric generator), 온도차(Temperature variation), 제벡효과(Seebeck effect), 열전 모듈(Thermoelectric module)

기 호 설 명

ΔT	: 열전발전소자 양단간의 온도차 (°C)
hot side	: 열전소자의 열에너지공급원의 접촉면
Cool side	: 열전소자의 방열판의 접촉면
Heat side	: 열에너지 공급원
Heat sink	: 방열판 및 방열시스템
T_h	: 열전소자Hot side단면의 온도 (°C)
T_c	: 열전소자Cool side 단면의 온도 (°C)

1. 서 론

유가 불안정, 지구환경문제 및 기후 협약에 의하여 신·재생에너지의 개발이 시급한 현재 많은 분야에서 신재생에너지의 관심이 높아지고, 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 재생에너지의 일환이라고 할 수 있는 열에너지를 전기에너지로 변환하여 사용할 수 있는 열전발전에 대하여 언급하고자 한다.

현재, 열전발전시스템에 대해 다방면으로 연구가 이루어지고 있지만 열전발전시스템의 발전효율에 가장 큰 영향력이 있는 열전발전소자의 특성에 대한 연구가 미비하다. 따라서 본 논문에서는 열전발전시스템을 구성하는데 기본이라 할 수 있는 열전발전소자의 발전 특성에 대하여 논하고 열전발전소자 발전효율의 저해 인자를 찾아 그 대안을 제시하고, 최대로 발전 할 수 있는 열전발전시스템 장치를 고안하여 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

열에너지와 전기에너지를 상호 변환 하는 현상을 열전현상 혹은 열전효과라고 하며, 상반된 두 금속의 열전 특성에 의하여 크게 Seebeck effect, Peltier effect, Thomson effect의 3가지 이론으로 분류한다. 이 중 본 논문에 사용되는 이론인 Seebeck effect는 열전발전이라 하고, 열전발전은 열류와 전기회로에서 전하 담체와 직접 간섭에 의하여 열에너지를 전기 에너지로 교

환하는 것을 말한다. 즉 아래 그림 1과 같이 N형 반도체의 경우 높은 에너지 상태인 Heat Source(Hot side 단면)쪽이 -로 대전되고, Heat sink(Cool side단면)쪽은 +로 대전된다. 이와 반대로 P형 반도체의 경우 높은 에너지 상태인 Heat Source(Hot side 단면)쪽에 +로 대전되고, Heat sink(Cool side 단면)쪽은 -로 대전된다.

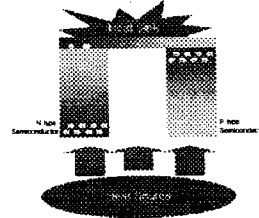


그림 1. Seebeck effect를 이용한 열전 발전원리

이 때, Hot side단면과 Cool side단면 사이에 가한 온도차(ΔT)와 열전발전소자에서 발생된 전압(V_s)은 서로 비례하며, 발생전압(V_s)은 식1과 같다.[1]

$$V_s = a \Delta T \quad (1)$$

여기서 a 는 Seebeck계수라고 하며 온도의 함수로 주어지는 재료 고유의 물성 값으로 재료의 Carrier 농도와 유효질량에 의존한다.

3. 실험방법

본 논문에 사용된 열전발전소자와 Heat source, Heat sink는 다음 표 1과 같다.

표 1 열전발전소자, Heat source, Heat sink의 사양표

	열전소자	Heat Source	Heat sink
크기 [가로×세로×높이[mm]]	40×40×3	150×150×30	150×150×15
재질	-	주물히터	알루미늄
Hot side/Cool side 온도[°C]	200/50	-	-
Open Voltage[V]	8.6	-	-
전압[V]/전류[A]	4.2/2.5	-	-
발전용량[W]	14.7	-	-

발전소자 양단면의 표면온도 측정을 위해 센서를 설치할 때, 센서로 인한 공간이 생겨 열전발전소자의 Hot side 단면에 불균일하게 열이 전달된다. 따라서 본 연구에서는 그림 4의 Heat source의 (a)점에 온도 센서 삽입용 구멍을 내고 원 칩을 이용하여 Hot side의 온도를 측정 및 기록하였다. 또한, 측정된 온도를 기준으로 Heat source의 공급전압을 조정하여 열전발전소자에 공급되는 열 에너지를 조정하였다. 열전발전소자의 Cool side 단면의 온도는 그림 2의 Heat sink의 (b)점에 온도측정용 구멍을 내고 레코더(HIOKI8860)를 통하여 측정 및 기록하였다.

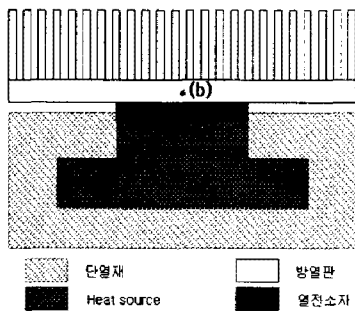


그림 2. 온도센서 측정부위

그림 3은 원 칩과 레코더를 사용하여 Hot side 단면의 온도를 동시에 측정한 결과이다. 실험 결과 원 칩에서 측정한 결과는 상용화된 레코더에 비하여 150~180°C 온도범위 내에서 $\pm 2[^\circ\text{C}]$ 의 오차범위 안에 포함되었다. 이는 실제 온도보다 최대 4[°C]의 온도차가 발생하게 되며, 최적의 발전효율 상태에서 측정오차에 의한 ΔV 는 0.12[V]로 전체 발전효율의 1.71%이다.

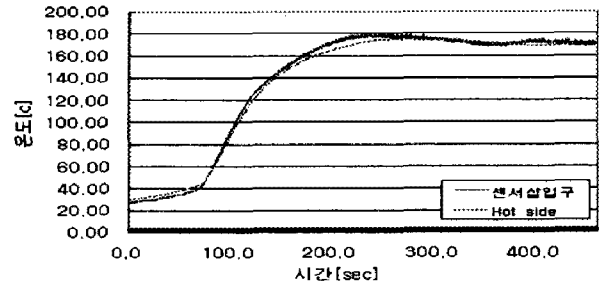


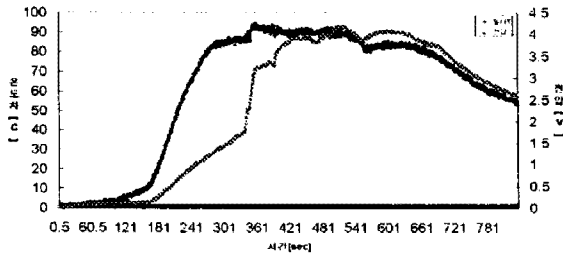
그림 3. 구리금속 온도측정부위에 따른 온도차

또한, 본 연구에 사용된 실험 장치는 열전발전소자의 양 단면인 Hot side와 Cool side의 온도차에 의하여 발전량이 결정되는 점을 감안하여 Heat source에서 Heat sink로 공기를 통한 간접적인 열의 이동이 불가능하게 teflon재질의 단열재를 사용하여 열전발전소자의 Hot side에만 열에너지가 공급될 수 있는 형태로 제작하였다.

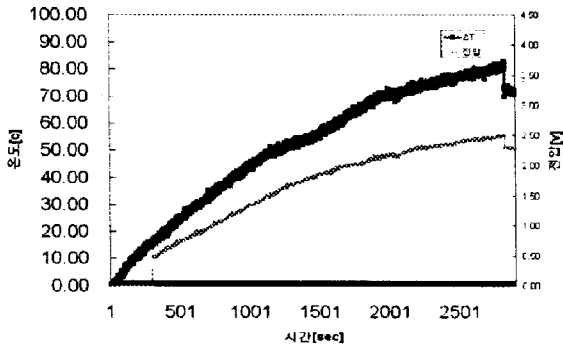
4. 실험결과 및 고찰

4.1 Heat source와 Hot side의 접촉면이 일치하지 않는 경우

그림 4는 그림 2의 실험 장치를 이용하여 얻은 실험결과이다. 그림 4의 (a)는 열전발전소자의 Hot side 단면과 Heat source의 단면의 일부가 직접적으로 접촉하지 않은 경우이다. 단열재로 인하여 외부공기와 차단되었으므로 Heat source에서 외부로 열에너지의 유출이 없기 때문에 열전발전 전력은 상승시간만 지연 되었을 뿐 최대발전량은 차이가 없는 결과를 나타내고 있다. 그림 4의 (b)는 Heat source와 Hot side의 일부가 직접적으로 접촉하지 않은 경우로 단열재가 없어서 Heat source의 열에너지가 외부공기로 유출되어 지므로 공급된 열에너지에 비하여 발전되는 발전량이 적게 나타난 결과이다.



(a) 외부와 완벽히 차단되었을 때



(b) 외부와 완벽히 차단되지 않았을 때
그림 4. Hot side와 Heat Source가 불균일하게 접촉된 실험결과

4.2 Heat source의 위치와 면적에 따른 열전발전 특성

(1) Hot side에 최대 열량이 공급되어질 때

그림 5의 그래프는 그림 2의 실험 장치를 Hot side와 Heat source의 접촉면을 균일하게 하고, 측정된 결과이다. 그림 4의 (a)점과 (b)점의 온도차(ΔT)와 비례하여 열전발전소자의 발전량도 증가하는 것을 볼 수 있다.

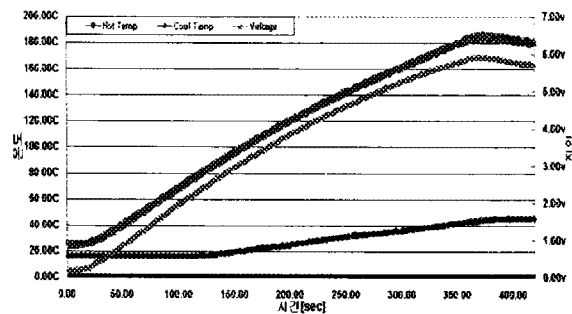


그림 5. 열량이 최대로 공급되어질 때의 열전발전량

또한, 열전발전소자의 양단에 가변저항을 연결하여 측정해본결과 전압과 전류 특성은 그림 6과 같고, 저항의 변화에 따른 발생전력의 특성은 그림 7과 같다.

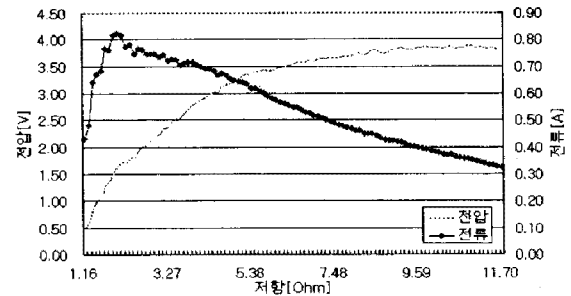


그림 6. 열전발전량의 부하에 따른 전압과 전류

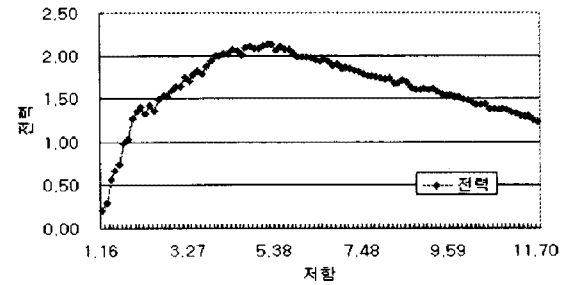


그림 7. 저항에 따른 발생전력

(2) Heat source 면적이 다를 때

그림 8과 같이 열에너지의 공급이 원활한 구리((a)지점)와 열에너지의 공급을 저해하는 물질인 단열재((b)지점)를 끼워 넣어서 열전발전소자의 일정 면적에 열에너지의 공급을 감소 시켜보았다.

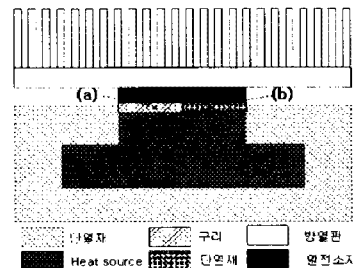


그림 8. 온도편차에 따른 발전효율 측정 장치
본 실험에 앞서 열전발전소자의 발전량은 식 1과 같이 Seebeck 계수에 의해서 결정

된다. 그리고 열전발전소자의 P-N형 반도체의 배열방식이 그림 9와 같다면 공급 열량이 동일할 경우 발생하는 발전량은 P-N형 반도체의 커플 수와 비례하므로 예상발전 전력은 식 3과 같다.

$$V_s = \alpha \left(\Delta T_{cu} \frac{A_{cu}}{A} - \Delta T_{hi} \frac{A_{hi}}{A} \right) \quad (3)$$

식 3에서 A는 열전발전소자 전체의 면적, A_{cu} 는 그림 8의 (a)에 해당하는 구리의 면적, A_{hi} 는 그림 8의 (b)에 해당하는 단열재의 면적이고, ΔT_{cu} 는 구리와 Heat sink의 온도차이고, ΔT_{hi} 는 단열재와 Heat sink의 온도차이다.

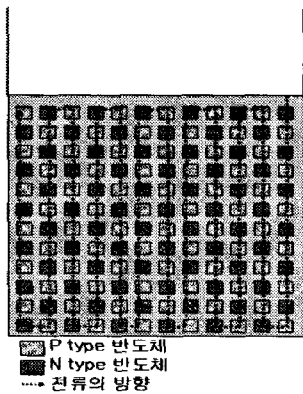
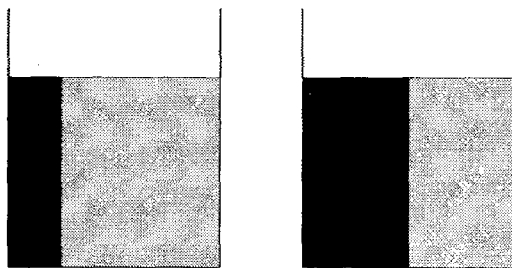


그림 9. 열전발전소자의 반도체 배열방식

표 2의 결과는 그림 10과 같이 Heat source와 Hot side 단면 사이에 단열재의 면적에 따른 열전발전시스템의 발전량이다.



(a) 단열재면적 400

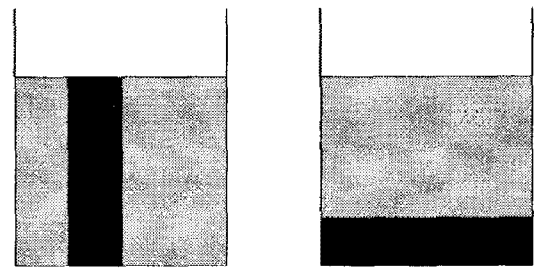
(b) 단열재면적 800

그림 10. 열전발전소자와 접촉한 단열재의 면적
표 2. Hot side의 공급되는 면적의 편차에 의한 발전효율

구리의 면적(mm ²)	1600	1200	800
단열재의 면적(mm ²)	0	400	800
구리의 온도(°C)	180	168	170
단열재의 온도(°C)	-	116	80
Cool side의 온도(°C)	40	34	26
예상발전량(V _s)	5.26	4.63	3.75
실제발전량(V)	5.27	5	1.8

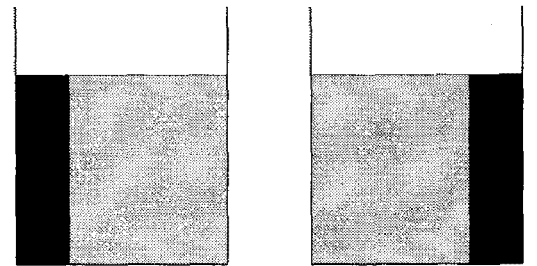
(3) Heat source 위치가 다를 때의 열전발전 특성

열전발전소자에 열에너지가 공급되어지는 위치 즉, 그림 11과 같이 열에너지를 불균일하게 공급할 경우에 따라서 열전발전시스템의 발전량은 표 3과 같다.



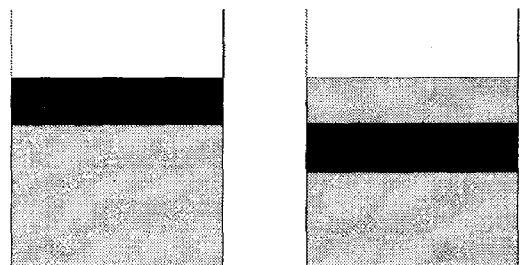
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

그림 11. 열전발전소자에 접촉한 단열재의 위치

표 3. Hot side의 공급되는 면적의 편차에 의한 발전량

단열재의 위치	a	b	c	d	e	f
구리의 온도[°C]	169	169	168	168	169	168
단열재의 온도[°C]	143	128	116	139	130	142
Cool side의 온도[°C]	38	27	33	44	30	43
예상발전량[V]	45	46	41	42	45	42
실제발전량[V]	44	26	49	47	24	48

표3에서 볼 수 있듯이 그림 11의 b와 e와 같은 배열에서는 그 발전량이 현저히 줄어드는 현상을 발견할 수 있었다. 이점을 감안하여 그림 12과 같은 형태로 실험한 결과를 표 4에 나타내었다.

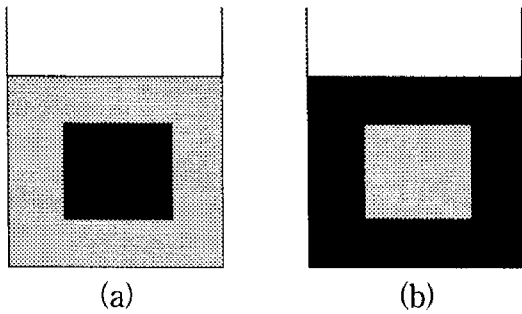


그림 12. 구리와 단열재의 위치에 따른 발전량 실험

표 4. 구리와 단열재의 위치에 따른 예상 발전량 및 발전량

단열재의 위치	a	b
구리의 온도[°C]	168.1	166.9
단열재의 온도[°C]	130.6	113.8
Cool side의 온도[°C]	37.70	33.1
예상발전량[V]	4.20	3.54
실제발전량[V]	3.60	2.80

4.3 열전발전 시스템의 제안

그림 13은 본 연구를 바탕으로 제안하는 열전발전시스템의 Heating system이

다. 열전발전시스템의 발생 전력을 높이기 위해서는 Cool side에서 방열이 빨라야 하며, Heat source에서 직접, 간접적으로 열 에너지의 이동이 없도록 단열재를 삽입하였다.. 또한, Hot side에 공급되어지는 열량은 균일해야 하며 특히 그림11의 b와 e 부분에 충분한 열량이 공급될 수 있게 Heat transfer를 삽입하여 열편차를 최대한 줄이고, 접촉면이 균일 할 수 있는 형태로 열전발전시스템을 설계하였다.

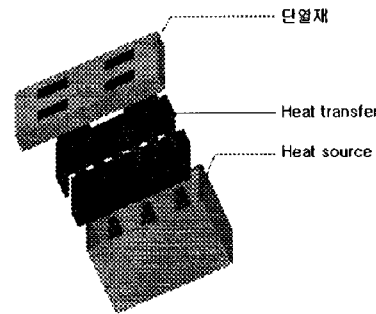


그림 13. 제안된 열전발전시스템의 구성도

5. 결론

(1) Heat source와 접촉면의 불균일함 및 공급열량의 편차에 의하여 발전량에 차이가 나는 문제점을 실험을 통해 확인하였다.

(2) 실험 결과를 토대로 제안된 열전발전시스템은 측정이 용이하고 Heat source의 열편차가 비교적 균일하여, 열원의 크기와 발전소자의 위치배열에 의한 전력 손실을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

(2) Seebeck Effect의 이론에 따라 열전발전소자 양단의 온도차에 따라 열전발전량이 결정되는 현상을 실험을 통하여 증명하였다.

(3) 원 칩을 이용하여 열에너지 공급량 조절을 통한 안정적인 발전시스템을 구성, 온도측정,

발생전력을 측정하였다.

(4) 본 논문의 실험결과에 의하면 열전발전 소자는 N, P형 반도체가 같은 배열방식(동일 면적당 같은 반도체의 개수)임에도 특정부위에서 발전량이 현저히 떨어지는 현상이 발견되었다. 이 현상이 전지의 특성 때문인지 아니면 그 외의 다른 요인에 의하여 발생된 현상이지에 대한 이론적 규명이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참 고 문 헌

1. 심재동 외 4명, Thermoelectric device의 개발 및 응용에 관한 연구, 한국 과학기술연구원
2. 조일식 외 3명, 열전 발전장치의 실험적 연구, 공기조화냉동공학회98 pp1494~1497
3. 우병철 외 2명, 온수를 이용한 열전발전기에서 유량변화에 따른 발전 특성, 대한 기계학회논문집 B권, 제 26권 제 10호, pp1222~1230 2002년
4. 이영재 외2명, 열전발전 전용을 위한 가솔린 차량의 전력 및 배기열 에너지 분석 연구, 한국자동차공학회 논문집 제10권 제 1호 pp99~105